

**Magnetic field sensor for use in current meter or rev counter**

**Patent number:** DE19810218  
**Publication date:** 1998-10-15  
**Inventor:** GINTNER KLEMENS [DE]  
**Applicant:** GINTNER KLEMENS [DE]  
**Classification:**  
- **International:** G01R33/09; G01R15/20; G01P3/487  
- **European:** G01P3/487; G01R33/09B  
**Application number:** DE19981010218 19980310  
**Priority number(s):** EP19970104023 19970310

**Abstract of DE19810218**

The sensor works on the basis of the magnetoresistive effect. The sensor has at least one long, multi-layered magnetic field sensitive strip (RMR1,RMR2), which is formed of a magnetoresistive material. The strip is separated by an insulator (2) from a current conductor (Al 1). The current conductor provides a current parallel to the length of the strip. The current conductor is connected in a circuit for linearising the magnetoresistive characteristic of the sensor, for compensating the effect of an external magnetic field or for amplifying the sensor output signal.

---

Data supplied from the **esp@cenet** database - Worldwide



①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**  
⑩ **DE 198 10 218 A 1**

⑤1 Int. Cl.<sup>6</sup>:  
**G 01 R 33/09**  
G 01 R 15/20  
G 01 P 3/487

②1 Aktenzeichen: 198 10 218.6  
②2 Anmeldetag: 10. 3. 98  
④3 Offenlegungstag: 15. 10. 98

DE 198 10 218 A 1

③0 Unionspriorität:  
97 10 4023. 3 10. 03. 97 EP

⑦1 Anmelder:  
Gintner, Klemens, 91052 Erlangen, DE

⑦4 Vertreter:  
Patentanwälte Rau, Schneck & Hübner, 90402  
Nürnberg

⑦2 Erfinder:  
gleich Anmelder

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

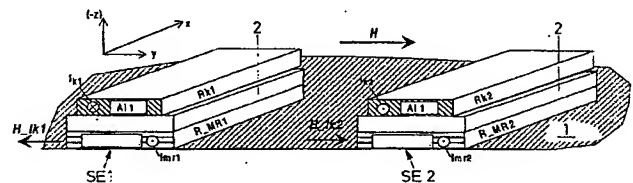
Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤4 Magnetfeldsensor auf Basis des magnetoresistiven Effektes

⑤7 Ein Magnetfeldsensor auf Basis des magnetoresistiven Effektes ist versehen mit

- mindestens einem Magnetfeld-empfindlichen langgestreckten, lagenförmigen Sensorstreifen (R\_MR1, R\_MR2, R\_MR3, R\_MR4) aus einem magnetoresistiven Material,
- einem von dem Sensorstreifen (R\_MR1, R\_MR2, R\_MR3, R\_MR4) über einen Isolator (2, 22) getrennten, hochleitfähigen Stromleiter (Al1) zur Führung eines Hilfsstroms (Ik1, Ik2, Ik3, Ik4) parallel zu dem mindestens einen Sensorstreifen (R\_MR1, R\_MR2, R\_MR3, R\_MR4), und
- einer dem Stromleiter (Al1) zugeordneten Beschaltung zur Linearisierung der Magnetoresistiv-Charakteristik des Sensors, zur Kompensation der Wirkung eines externen Magnetfeldes auf den Sensorstreifen (R\_MR1, R\_MR2, R\_MR3, R\_MR4) unter Erweiterung des Meßbereichs und/oder zur Verstärkung des Ausgangssignals (Ud) des Sensors.

Derartige Magnetfeldsensoren sind auch als Drehzahlensoren oder Stromsensoren einsetzbar.



DE 198 10 218 A 1

Die Erfindung betrifft einen Magnetfeldsensor auf der Basis des magnetoresistiven Effektes sowie Ausführungen eines solchen Sensors als Strom- bzw. Drehzahlsensor.

Zum Hintergrund der Erfindung und zum Stand der Technik ist auszuführen, daß der magnetoresistive Effekt, unter den u. a. der sogenannte anisotrope magnetoresistive Effekt und der "Giant magnetoresistive effect" fallen, die Messung von Magnetfeldern ermöglicht. Der Effekt tritt bei ferromagnetischen Materialien auf, deren elektrische Leitfähigkeit vom Winkel zwischen der elektrischen Stromdichte und der Magnetisierung des ferromagnetischen Materials abhängt. Daher können äußere Magnetfelder den elektrischen Widerstand einer magnetoresistiven Schicht verändern, da die Magnetisierung durch solche äußere Magnetfelder aus der sogenannten "leichten Richtung", d. h. die Richtung der Vorzugsmagnetisierung, herausgedreht wird.

Als Sensoren werden dabei grundsätzlich streifenförmige Schichten aus ferromagnetischem Material verwendet. Aufgrund der durch die Streifenschichtkonfiguration gegebenen Formanisotropie der magnetoresistiven Schicht – es gilt nämlich für den Streifen Länge > Breite > Dicke – liegt der Magnetisierungsvektor immer in der Schichtebene. Im allgemeinen besteht die Schicht aus einer 20 nm bis 80 nm dicken Schicht aus einer Permalloy-Legierung  $\text{Ni}_{81}\text{Fe}_{19}$ . Die erreichbaren relativen Widerstandsänderungen betragen ca. 3,5%. Im übrigen wird das äußere Magnetfeld in der sogenannten magnetisch "schweren Richtung" – d. h. der Richtung der Breite des Sensorstreifens – angelegt.

Wird die durch Anlegen eines Magnetfeldes in Breitenrichtung sich ergebende Widerstandsänderung auf einem Magnetfeld-Widerstandsänderungs-Diagramm aufgetragen, so ergibt sich eine typische Glockenkurve um den Wert 0 des Magnetfelds. Der elektrische Widerstand ist für einen Winkel 0 zwischen der elektrischen Stromdichte und der Magnetisierung am größten und für einen Winkelbetrag von 90° am kleinsten. Aufgrund dieser Charakteristik ist die Empfindlichkeit des Sensors für kleine Magnetfelder in Breitenrichtung des Streifens sehr klein. Aufgrund der Glockenkurve ist die Kennlinie ferner nicht eindeutig, da für eine bestimmte Widerstandsänderung das zugehörige Magnetfeld parallel oder antiparallel zur Breitenrichtung liegen kann. Somit ist für die Sensoranwendung eine Linearisierung notwendig. Hierfür sind zwei verschiedene Arten bekannt.

Zum einen wird eine Linearisierung durch eine sogenannte "Barber-Pole"-Struktur erreicht. Diese sogenannten Barber-Pole verdrehen den Vektor der elektrischen Stromdichte um ca. 45° in der Schichtebene des Sensorstreifens, wodurch an sich eine Linearisierung der Magnetoresistiv-Charakteristik für kleine Magnetfelder und in einem bestimmten Meßbereich eine eindeutige Zuordnung eines Widerstandsänderungswertes zu einem bestimmten anliegenden Magnetfeld erreicht werden.

Die Linearisierung mit Barber-Polen hat verschiedene Nachteile. So hängt die Magnetoresistiv-Charakteristik einer entsprechenden Schicht mit Barber-Pole-Struktur stark von der Richtung der Magnetisierung ab. Ohne äußeres Magnetfeld liegen mindestens zwei antiparallele Domänen – also Bereiche mit einheitlicher Magnetisierung – vor, so daß sich die resultierende Kennlinie aus der Überlagerung der Kennlinie mit der Magnetisierung in einer Richtung und der Kennlinie mit der Magnetisierung in der dazu antiparallelen Richtung ergibt. Dies führt zu einer Verkleinerung des Signals, da sich beide Kennlinien kompensieren können. Aufgrund von äußeren Magnetfeldern, die eine Komponente in eine der beiden Magnetisierungsrichtungen aufweisen, kann

eine Vorzugsrichtung der Magnetisierung entstehen, was sich in zwei verschiedenen Kennlinien je nach äußerem Magnetfeld äußert. Dabei ist ein "Umklappen" der Magnetisierung um 180° in der magnetisch "leichten" Richtung möglich, womit auch die Kennlinie umklappt.

Der vorstehende Effekt kann durch ein zusätzliches magnetisches Stützfild in der magnetisch "leichten" Richtung des Sensorstreifens zwar verhindert werden, dieses Stützfild erschwert jedoch das Verdrehen der Magnetisierung durch das zu erfassende äußere Magnetfeld, was zu einer Verminderung der Sensorempfindlichkeit führt. Außerdem ist anzumerken, daß durch das Aufbringen der Barber-Pole sich grundsätzlich das Ausgangssignal um ca. 50% vermindert. Grund hierfür ist die Tatsache, daß die relativ hochohmige, magnetoresistive Schicht durch die Barber-Pole teilweise kurzgeschlossen wird und nur die freiliegenden Bereiche der magnetoresistiven Schicht zwischen den Barber-Polen zum Effekt beitragen.

Eine zweite Möglichkeit der Linearisierung der Sensorkennlinie ist durch ein Magnetfeld in der magnetisch "schweren" Richtung – der Richtung der Breite des Sensorstreifens – gegeben. Hierdurch wird der Nullpunkt der Magnetfeld-Achse in einem Magnetfeld-Widerstandsänderungs-Diagramm in einen Ast der eingangs erwähnten Glockenkurve verschoben, so daß die Empfindlichkeit für kleine zu erfassende Magnetfelder in der Breitenrichtung steigt. Ferner ist auch kein Sprung in der Kennlinie nach einem Umklappen der Vorzugsrichtung der Magnetisierung zu erkennen. Das zur Linearisierung notwendige Magnetfeld wird z. B. durch einen Permanentmagneten oder durch das Magnetfeld eines elektrischen Gleichstromes einer zusätzlichen Leiterbahn realisiert, die oberhalb oder unterhalb der magnetoresistiven Schicht angeordnet ist. Grundsätzlich hat die Linearisierung mit einer zusätzlichen Magnetfeldkomponente in der magnetisch "schweren" Richtung gegenüber der Linearisierung mit Barber-Pole-Strukturen den Vorteil einer optimalen Nutzung der Sensorfläche und einer größtmöglichen Magnetfeldempfindlichkeit. Ferner ist eine Verwendung von magnetischen Stützfildern nicht notwendig. Es entfallen also zusätzliche hartmagnetische Materialien im Sensor. Ferner ist eine irreversible Veränderung der Sensorkennlinie aufgrund der Beeinflussung des Stützfildes durch starke externe Magnetfelder unmöglich.

In der Praxis wird bei Sensoren nach dem Stand der Technik zum großen Teil auf die Linearisierung mit Hilfe der Barber-Pole-Struktur zurückgegriffen. Ferner wird zur Unterdrückung einer temperaturabhängigen Offset-Spannung in der Regel eine Brückenschaltung aus vier magnetoresistiven Streifen eingesetzt. Die daraus resultierende Ausgangsspannung kann in üblicher Weise meßtechnisch weiterverarbeitet werden.

Ferner sind in verschiedenen angebotenen Sensoren die vorstehend zum Stand der Technik erörterten Maßnahmen zur Linearisierung umgesetzt. Als Beispiel wird in diesem Zusammenhang auch auf die EP 0 544 479 A2 verwiesen, die einen Magnetfeldsensor mit vier Sensorelementen beschreibt. Durch einen mit dem Element integral ausgeführten Leiter wird dabei ein magnetisches Feld zum Testen, Einstellen und Kalibrieren des Sensorelementes erzeugt. Ein weiterer elektrischer Leiter, der von den Sensorelementen mit Abstand angeordnet ist, trägt einen Strom zum Setzen und Zurücksetzen der Magnetisierungsrichtung der in einer Brückenordnung verschalteten Sensorelemente. Wie der Druckschrift dabei entnehmbar ist, sind bei den magnetoresistiven Elementen Barber-Pole vorgesehen.

Der Erfindung liegt nunmehr die Aufgabe zugrunde, einen Magnetfeldsensor auf Basis des magnetoresistiven Effektes so auszugestalten, daß er in meßtechnischer Hinsicht

verbessert und universell – beispielsweise auch als Drehzahl- oder Stromsensor – einsetzbar ist.

Diese Aufgabe wird durch die im Anspruch 1 angegebenen Merkmale gelöst. Der Erfindung liegt dabei die Nutzung eines gut leitfähigen Stromleiters, der durch eine einzige integrierte elektrisch leitfähige Schicht oder Leiterbahn realisiert werden kann, zugrunde. Vorzugsweise kann dieser Stromleiter oberhalb oder unterhalb der den Sensorstreifen bildenden magnetoresistiven Schicht angeordnet sein. Bei einer Anordnung oberhalb des Sensorstreifens kann der Stromleiter in üblicher Mikrostrukturtechnologie, in Hybridtechnik oder auch als drahtförmiger Leiter in Form von z. B. Bond-Drähten realisiert werden. Bei einer Anordnung unterhalb des Sensorstreifens kann der Stromleiter als leitfähige Schicht in das Substrat implantiert bzw. eindiffundiert und damit direkt integriert werden.

Bevorzugterweise sind mindestens zwei – für die Realisierung einer Brückenschaltung vier – Sensorstreifen in einer Ebene auf dem Sensorsubstrat angeordnet. Durch die Anordnung in einer Ebene sind die einzelnen Sensorstreifen magnetisch entkoppelt.

In einer weiteren bevorzugten Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Sensors ist es vorgesehen, daß der Stromleiter zur Führung des Hilfsstromes zumindest in Teilbereichen in seinem Verlauf eine Komponente in der magnetisch schweren Richtung der Sensorstreifen aufweist. Dadurch wird ein kleines Stütz-Magnetfeld in Richtung der magnetisch leichten Achse des Sensors erzeugt, um die magnetischen Domänen im Sensorstreifen auszurichten. Damit wird ein magnetisch induziertes Rauschen des Sensors unterdrückt.

Bevorzugte Ausführungsformen des Sensors sehen eine Umsetzung als Stromsensor bzw. Drehzahlsensor vor. Zur Vermeidung von Wiederholungen wird in diesem Zusammenhang auf die Beschreibung der entsprechenden Ausführungsbeispiele hinsichtlich weiterer Einzelheiten verwiesen.

Grundlagen, verschiedene Ausführungsformen und Testergebnisse zum Erfindungsgegenstand werden anhand der beigelegten Zeichnungen in der nachfolgenden Beschreibung näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 eine Prinzipskizze des Sensor-Grundaufbaus mit zwei benachbarten Sensorelementen,

Fig. 2 eine Vergleichsdarstellung in Draufsicht für zwei unterschiedliche grundsätzliche Anordnungsmöglichkeiten der beiden Sensorelemente gemäß Fig. 1 auf einem Träger,

Fig. 3 ein Kennlinien-Diagramm für die Sensorelemente gemäß Fig. 1 und 2,

Fig. 4 und 5 Beispiele für die Beschaltung der Sensorstreifen zur Kennlinienlinearisierung,

Fig. 6 ein Prinzipschaltbild für die Sensorbeschaltung zur Verstärkung des Sensor-Ausgangssignals,

Fig. 7 ein Gesamt-Schaltbild für die Beschaltung eines Sensors mit zwei Sensorelementen,

Fig. 8 ein Kennlinien-Diagramm des gesamten Sensors ohne und mit Kompensation,

Fig. 9 ein Diagramm der Ausgangsspannung der Schaltung nach Fig. 7 in Abhängigkeit des zu erfassenden Magnetfeldes,

Fig. 10 ein Gesamt-Schaltbild zur Linearisierung, Kompensation und Verstärkung des Ausgangssignals eines Sensors mit einer Brückenschaltung aus vier Sensorstreifen,

Fig. 11 und 12 jeweils Prinzip-Draufsichten auf zwei Sensorstreifen mit zumindest teilweise schräg verlaufenden Stromleitungen,

Fig. 13 eine Prinzipskizze eines aus mehreren Elementen zusammengesetzten Sensorstreifens,

Fig. 14 eine Prinzipdarstellung eines Sensors mit zwei Sensorelementen analog Fig. 1 in einer zweiten Ausführungsform,

rungsform,

Fig. 15 bis 17 Prinzipdarstellungen der Anwendung des Sensors als Drehzahl-Sensor,

Fig. 18 ein Prinzipdiagramm des Magnetfeldverlaufes für die Sensoranordnung gemäß Fig. 17,

Fig. 19 bis 22 Meßdiagramme des analogen und digitalisierten Drehzahl-Sensor-Ausgangssignals,

Fig. 23 eine Prinzipdraufsicht auf einen Stromsensor in einer ersten Ausführungsform,

Fig. 24 einen schematischen Schnitt durch den Sensor entlang der Schnittlinie A gemäß Fig. 23,

Fig. 25 einen Schnitt analog Fig. 24 mit einem abgewandelten Schichtaufbau der Sensorelemente,

Fig. 26 eine Prinzipskizze eines Stromsensors in einer weiteren Ausführungsform,

Fig. 27 und 28 Kennliniendiagramme für Ausgangsspannungen eines beschalteten Stromsensors in Abhängigkeit des zu messenden Stromes, und

Fig. 29 eine Schemazeichnung zur Erläuterung des anisotropen magnetoresistiven Effektes.

Bevor auf die verschiedenen Ausführungsbeispiele der Erfindung eingegangen wird, werden anhand von Fig. 29 die physikalischen Grundlagen des anisotropen magnetoresistiven Effektes zum besseren Verständnis nochmals kurz dargestellt. Grundsätzlich wird mit einem Streifen eines ferromagnetischen Materials gearbeitet, der eine starke Formanisotropie aufweist. Es gilt also Länge  $l \gg$  Breite  $b \gg$  Dicke  $d$  für den Streifen. Wird nun durch eine solche Schicht in Richtung der Länge  $l$  ein elektrischer Strom geschickt, so hängt der Widerstand vom Winkel  $\Theta$  zwischen den Vektoren der elektrischen Stromdichte  $J$  und der Magnetisierung  $M$  ab. Dadurch können äußere Magnetfelder  $H$  den elektrischen Widerstand  $R_{MR}$  in der Schicht ändern. Dies resultiert aus einer Drehung der Magnetisierung  $M$  aus der sogenannten magnetisch "leichten" Richtung, d. h. der Richtung der Vorzugsmagnetisierung, bei der es sich in Fig. 29 und allen anderen beigelegten Figuren durchgehend um die  $x$ -Richtung der in die Zeichnungen jeweils eingezeichneten Koordinatensysteme handelt. Die  $y$ -Richtung in diesen Figuren ist jeweils die magnetisch "schwere" Richtung.

Die relative Änderung des Ohmschen Widerstandes bestimmt sich aus

$$\Delta R/R(0) = (\Delta R_{\max}/R(0)) \cdot (\sin(\Theta_{JM}))^2,$$

wobei  $\Theta_{JM}$  der zwischen elektrischer Stromdichte und der Magnetisierung eingeschlossene Winkel ist.

Zur eigentlichen Erfindung wird nun auf Fig. 1 und 2 Bezug genommen. Für einen grundsätzlichen Sensoraufbau, wie er verschiedenen Anwendungen zugeführt werden kann, wird vorgeschlagen, auf einer Wafer-Oberfläche 1 jeweils einen magnetoresistiven Sensorstreifen  $R_{MR1}$  bzw.  $R_{MR2}$  aufzubringen. Diese Sensorstreifen werden durch entsprechende Ohmsche Widerstände (wie vorstehend bezeichnet  $R_{MR1}$  bzw.  $R_{MR2}$ ) repräsentiert. Darauf wird eine Isolationsschicht 2 aufgebracht, die eine Dicke von  $0,1 \mu m$  bis  $5 \mu m$  aufweist und aus Siliziumoxid, Siliziumnitrid, Aluminiumoxid, Polyimidlack oder dergleichen besteht. Auf der Isolationsschicht liegt ein schichtförmiger Stromleiter A11, bei dem es sich um eine entsprechende Leiterbahn handelt. Schaltungstechnisch werden die den beiden Sensorelementen SE1 und SE2 zugeordneten Bereiche der Leiterbahn A11 jeweils durch Ohmsche Widerstände  $R_{k1}$  und  $R_{k2}$  repräsentiert. Durch sie fließen die Ströme  $I_{k1}$  und  $I_{k2}$ , deren Bedeutung im folgenden noch näher erläutert wird. In den beiden Sensorstreifen  $R_{MR1}$  und  $R_{MR2}$  fließen die für die Stromdichte  $J$  in der Beziehung des magnetoresistiven Effektes verantwortlichen Ströme  $I_{mr1}$  und  $I_{mr2}$ .

In Fig. 1 nicht explizit dargestellt ist eine Passivierungsschicht, die den Aufbau gegen äußere Einflüsse schützt. Auch eine zusätzlich notwendige Schicht zur Kontaktierung der Sensorstreifen R\_MR1 und R\_MR2 ist in Fig. 1 nicht dargestellt.

Wie aus Fig. 2 deutlich wird, können die beiden Sensorelemente SE1 und SE2 mit den entsprechenden Sensorstreifen R\_MR1 und R\_MR2 in einer parallelen Anordnung (linker Teil von Fig. 2) bzw. einer seriellen Anordnung (rechter Teil der Fig. 2) angebracht werden.

In den Fig. 1 und 2 sind ferner die relevanten Magnetfelder in der magnetisch "schweren" Richtung (y-Richtung) dargestellt. So werden durch die Ströme Ik1 und Ik2, die in den dargestellten Leiterbahn-Ästen gegenläufig strömen, zwei entgegengesetzte Magnetfeldkomponenten H\_Ik1 und H\_Ik2 erzeugt. Diese überlagern sich mit einem externen Magnetfeld H, bei dem es sich beispielsweise um ein zu messendes Magnetfeld handeln kann. Die bereits angesprochene mehrfache Nutzung der Leiterbahnen Al1 bezieht sich auf die Wirkung der Magnetfeldkomponenten H\_Ik1 und H\_Ik2, wie sie durch die Ströme Ik1 und Ik2 hervorgerufen werden, auf die Sensorschichten R\_MR1 und R\_MR2 bei einem gleichzeitig extern anliegenden Magnetfeld H.

Wie in diesem Zusammenhang aus Fig. 3 deutlich wird, führen die Magnetfeldkomponenten H\_Ik1 und H\_Ik2, die entgegengesetzt gerichtet sind, zu einer entsprechenden entgegengesetzten Verschiebung der Kennlinien der beiden Sensorelemente SE1 und SE2. Entsprechend wird der Nullpunkt der Magnetfeldachse in Fig. 3 in den Bereich der ansteigenden Flanke der mit einer durchgezogenen Linie dargestellten Kennlinie des Sensorelements SE1 bzw. in die abfallende Flanke der mit einer strichlierten Linie dargestellten Kennlinie des Sensorelements SE2 verschoben. Wird nun die derartig linearisierte Sensoranordnung, die in Fig. 4 in Form eines Prinzipschaltbildes dargestellt ist, einem externen Magnetfeld H ausgesetzt, so entsteht entsprechend der Beschaltung eine von diesem äußeren Magnetfeld H abhängige Spannung Ud zwischen den beiden Sensorstreifen R\_MR1 und R\_MR2. Die Ströme Ik1 und Ik2 verändern sich in Abhängigkeit von Ud dann derart, daß die durch sie hervorgerufenen Magnetfeldkomponenten H\_Ik1 und H\_Ik2 die Wirkung des äußeren Magnetfeldes H zu kompensieren versuchen. Für die in Fig. 1 dargestellte Konfiguration bedeutet dies, daß eine Erhöhung von H zu einer Vergrößerung des Stromes Ik1 und damit der Magnetfeldkomponente H\_Ik1 und zu einer Verkleinerung von Ik2 entsprechend einer niedrigeren Magnetfeldkomponente H\_Ik2 führt. Somit wird bis auf eine kleine Regelabweichung ( $U_d \neq 0$ ) wieder der ursprüngliche Ausgangszustand für  $H = 0$  erreicht. Ein äußeres Magnetfeld H führt also zu einer Veränderung der Ströme Ik1 und Ik2, die mit Hilfe zweier paralleler Ohmscher Widerstände Rv (siehe Fig. 6) erfaßt und in eine dem äußeren Magnetfeld H proportionale Ausgangsspannung  $U_{out}$  umgewandelt werden kann.  $U_{out}$  hängt also vom Wert der Ohmschen Widerstände Rv und der Veränderung von Ik1 bzw. Ik2 wie folgt ab:

$$U_{out} = (Ik1 - Ik2) \cdot Rv.$$

Mit dem Block 3 ist im übrigen eine Schaltung angegeben, die aufgrund von Ud (siehe Fig. 4) die Ströme Ik1 und Ik2 gegenphasig gemäß der folgenden Charakteristik verändert:

$$Ik1 = f(U_d); Ik2 = f(U_d); \Delta Ik1 = -\Delta Ik2.$$

In Fig. 5 ist eine Brückenschaltung aus vier Sensorstreifen R\_MR1, R\_MR2, R\_MR3 und R\_MR4 gezeigt, die ent-

sprechend dem Aufbau in Fig. 1 jeweils mit einem hochleitfähigen Stromleiter zur Führung der entsprechenden Hilfsströme Ik1, Ik2, Ik3 und Ik4 versehen sind. Letztere führen wiederum zu den Magnetfeldkomponenten H\_Ik1, H\_Ik2, H\_Ik3 und H\_Ik4, wobei zwischen den Mittenabgriffen der in Fig. 5 gezeigten Brückenschaltung die Spannung Ud abgenommen werden kann. Die Linearisierung der Sensor Kennlinie erfolgt analog Fig. 4 und 6.

Während bei den gezeigten Beschaltungsbeispielen gemäß den Fig. 4 und 5 weder eine Kompensation noch Verstärkung des Signals stattfindet und in Fig. 6 nur eine Prinzipschaltung zur Demonstration der Verstärkung des Ausgangssignals dargestellt ist, zeigt Fig. 7 ein Beispiel für eine Gesamt-Beschaltung der in Fig. 1 dargestellten Sensorkonfiguration, mit der eine Linearisierung, Kompensation und Verstärkung des Ausgangssignals des Sensors erreichbar sind.

Die Schaltung gemäß Fig. 7 weist zwei Hauptzweige 4, 5 auf, die wiederum in parallele Unterzweige 6, 7 bzw. 8, 9 aufgeteilt sind. Die beiden Unterzweige 6, 7 des Hauptzweiges 4 führen die Ströme Imr1 und Imr2 durch die Sensorstreifen R\_MR1 und R\_MR2. In beiden Unterzweigen 6, 7 sind dabei jeweils ein Ohmscher Widerstand Rv1 sowie ein Transistor T1 bzw. T2 sowie ein Potentiometer 10 bzw. 11 vorgesehen. Die Ströme Imr1 bzw. Imr2 werden dabei über die Kollektor-Emitter-Strecke der Transistoren T1 bzw. T2 geführt. Die Basen der beiden Transistoren T1, T2 sind miteinander verbunden und bilden so eine "Stromspiegel-Schaltung", so daß für  $R_{MR1} = R_{MR2}$  gilt:

$$Imr1 = Imr2.$$

Im übrigen wäre statt des Stromspiegels aus den beiden Transistoren T1 und T2 auch ein sogenannter "Wilson"-Stromspiegel mit insgesamt drei Transistoren verwendbar.

Im zweiten Hauptzweig 5 sind die zusätzlichen Stromleiter A11, die jeweils durch die Widerstände Rk1 und Rk2 repräsentiert werden, über jeweilige Ohmsche Widerstände Rv2 mit den Kollektoren der Transistoren T3 bzw. T4 verbunden, deren Emitter auf eine Konstantstromquelle geführt sind ( $Ik_{GES} = Ik1 + Ik2$ ). Die Transistoren T3, T4 sind als Differenzverstärker geschaltet, deren Basen die im Hauptzweig 4 abgegriffene Spannung Ud über entsprechende Buffer-Verstärker 12, 13 zugeführt erhalten.

Durch eine gegenphasige Widerstandsänderung von R\_MR1 und R\_MR2 verändern sich nun aufgrund der Beschaltung die Werte für Imr1 und Imr2, was zu einer Spannungsänderung von Ud führt. Diese Spannung Ud wird – wie erwähnt – im Differenzverstärker aus den Transistoren T3 und T4 als Eingangsspannung genutzt und führt zu einer Veränderung der Hilfsströme Ik1 und Ik2 durch die zusätzlichen Stromleiter Rk1 und Rk2. Die gegenphasige Änderung der elektrischen Ströme Ik1 und Ik2 bewirkt einerseits eine Gegenkopplung für die Wirkung des anliegenden Magnetfeldes H. Hierdurch wird auch eine Erweiterung des Meßbereichs erzielt. Andererseits vergrößert sich durch diese Maßnahme auch die Ausgangsspannung  $U_{out} = Rv2 \cdot (Ik1 - Ik2) \gg U_d$ .

Effekt der vorstehend erläuterten Beschaltung ist es also, daß der Einfluß eines äußeren Magnetfeldes H durch die Magnetfeldkomponenten H\_Ik1 und H\_Ik2 kompensiert wird, wodurch die Sensorelemente SE1 und SE2 im eingestellten Arbeitspunkt gehalten und gleichzeitig die Ausgangsspannung vergrößert werden.

Zu beachten ist außerdem, daß sich eine Temperaturänderung im Betrieb kaum auf die Schaltung auswirkt. So hat eine gleichphasige Veränderung der Widerstände R\_MR1

und R\_MR2 der beiden Sensorstreifen aufgrund einer Temperaturänderung keinen Einfluß auf die Spannung  $U_d$ . Dies ist eine wichtige Eigenschaft dieser Schaltung und kann als für Magnetoresistiv-Sensoren notwendige Temperaturkompensation betrachtet werden. Wichtig ist in diesem Zusammenhang natürlich eine gute thermische Kopplung zwischen R\_MR1 und R\_MR2, wie sie beispielsweise durch eine eng benachbarte Anordnung auf der Wafer-Oberfläche 1 des Chip-Trägers realisiert werden kann.

Die in Fig. 7 gezeigten Potentiometer 10, 11 werden im übrigen dazu verwendet, einen eventuell auftretenden "Offset" der Ausgangsspannung  $U_{out}$  durch unterschiedliche Werte der Widerstände R\_MR1 und R\_MR2 auszugleichen, so daß gilt:

$$U_{out}(H = 0) = 0 \text{ V.}$$

Dies ist wichtig für eine quantitative Messung, für eine qualitative Messung, wie sie beispielsweise bei dem später noch zu erläuternden Drehzahl-Sensor eingesetzt wird, ist dies weniger relevant.

Die Funktion der Schaltung nach Fig. 7 läßt sich noch anhand der Fig. 8 und 9 verdeutlichen. In Fig. 8 ist als dünne, punktiert unterlegte Linie die gesamte Sensor-Kennlinie lediglich im linearisierten Zustand, jedoch ohne Kompensation und Verstärkung dargestellt. Durch eine Kompensation mit der Schaltung gemäß Fig. 7 ergibt sich die dicke, durchgezogene Kennlinie in Fig. 8, die erkennbar flacher verläuft und somit einen größeren Magnetfeld-Meßbereich abdeckt. In Fig. 9 ist schließlich die Kennlinie der Ausgangsspannung  $U_{out}$  mit Kompensation und Verstärkung dargestellt.

Zu der angesprochenen Funktion der Schaltung nach Fig. 7 ist festzuhalten, daß beispielsweise ein positives Magnetfeld  $H$  einerseits zu einer Steigerung des Widerstandes R\_MR1 und andererseits zu einer Verkleinerung des Widerstandes R\_MR2 führt. Hierdurch vermindert sich der Strom  $I_{mr1}$  bei gleichzeitiger Vergrößerung des Stromes  $I_{mr2}$  durch die beiden Sensorstreifen. Als Folge ergibt sich in diesem Falle eine positive Spannung  $U_d$ . Im Differenzverstärker T3/T4 führt dies zu einer Erhöhung des Stromes  $I_{k1}$  und damit der Magnetfeldkomponente  $H_{Ik1}$  und zu einer Verminderung von  $I_{k2}$  und entsprechend  $H_{Ik2}$ . Dies bedeutet insgesamt eine Gegenkopplung für die Wirkung des externen Magnetfeldes  $H$ . Die Spannung  $U_d$  wird also für externe Magnetfelder  $H$  in Folge der Kompensation kleiner, was den linearen Meßbereich – wie aus Fig. 8 erkennbar – erweitert. Durch die beschriebene Verstärkung wird schließlich die in Fig. 9 erkennbare Kennlinie der Ausgangsspannung  $U_{out}$  erzielt.

In Fig. 10 ist eine Gesamt-Beschaltung für eine Brückenschaltung mit vier magnetoresistiven Sensorstreifen R\_MR1, R\_MR2, R\_MR3 und R\_MR4 gezeigt. Die Potentiale  $U_a$  und  $U_b$  an den Mittenabgriffen dieser Brückenschaltung werden dabei in die in Fig. 10, rechter Teil, gezeigte Schaltung über Buffer-Verstärker  $V_{pre}$  an den Basisanschlüssen der Transistoren T1, T4 bzw. T2, T3 eingespeist. Die Transistoren T1 bis T4 sind mit ihrer Kollektor-Emitterstrecke jeweils in die die Ströme  $I_{k1}$ ,  $I_{k2}$ ,  $I_{k3}$  und  $I_{k4}$  führenden Zweige eingeschleift. Den vorgenannten Strömen entsprechende Spannungen können über Ohmsche Widerstände  $R_v$  in den einzelnen Stromzweigen erzeugt werden, wobei zwischen den beiden Kollektoren der Transistoren T3 und T4 die Ausgangsspannung  $U_{out}$  abgegriffen wird.

Bei der in Fig. 11 dargestellten alternativen Ausführungsform für die Anordnung der die Ströme  $I_{k1}$  und  $I_{k2}$  führenden Hilfsleiter A11 ist eine Schrägstellung dieser Stromleiter um den Winkel  $\alpha$  gegenüber x-Richtung vorgesehen. Der

Betrag des Winkels  $\alpha$  soll unter  $20^\circ$  liegen. Durch die Schrägstellung erhält man für die unipolar fließenden Ströme  $I_{k1}$  bzw.  $I_{k2}$  ebenfalls unipolare Magnetfelder  $H_{Ik1}$  bzw.  $H_{Ik2}$ , die jeweils auch eine Komponente in x-Richtung aufweisen. In Fig. 11 sind diese Komponenten mit  $H_{xIk1}$  und  $H_{xIk2}$  bezeichnet. Sie weisen in Richtung der leichten Achse und stellen damit ein Stütz-Magnetfeld dar, das die magnetischen Domänen innerhalb der Sensorstreifen R\_MR1 und R\_MR2 ausrichtet. Dies unterdrückt das magnetisch induzierte Rauschen.

Bei der in Fig. 12 dargestellten Ausführungsform sind lediglich die Endbereiche 14 der Stromleiter gegenüber den Sensorstreifen verdreht. Dadurch wird an den Enden für eine Ausrichtung der sogenannten "buckling domains" gesorgt, die für das Rauschen hauptverantwortlich sind. Durch die Wahl der Geometrie, z. B. durch eine Verschmälerung, kann der vorstehende Effekt noch optimiert werden. Die genannte Verschmälerung sorgt für eine höhere Stromdichte und damit für ein höheres Magnetfeld.

In Fig. 13 ist eine alternative Realisierungsmöglichkeit für die einzelnen Sensorstreifen R\_MR1 bzw. R\_MR2 dargestellt. Es sind nämlich diese Sensorstreifen in sich aus einzelnen Streifenelementen R\_MRN zusammengesetzt, die durch entsprechende hochleitfähige Schichtverbindungen 15 an ihren Enden mäanderartig miteinander verschaltet sind. Dadurch wird der Ohmsche Widerstand des Sensorstreifens erhöht. Die hochleitfähigen Schichtverbindungen 15 können auch zum Kontaktieren der Sensorstreifen dienen. Für diesen Fall sind die Schichtverbindungen 15 zu sogenannten Bond-Flächen 16 erweitert.

In Fig. 14 ist eine alternative Möglichkeit für die Anordnung der Stromleiter A11 zur Führung der Hilfsströme  $I_{k1}$  und  $I_{k2}$  der beiden Sensorelemente SE1 und SE2 dargestellt. Demnach ist in einer Ebene eine elektrisch hochleitfähige, nicht magnetische Schicht A11 z. B. aus Aluminium oder

Kupfer, unter Trennung durch eine Isolationsschicht 2 von den Sensorstreifen R\_MR1, R\_MR2 eingesetzt. Bezüglich der aus den Strömen  $I_{k1}$  bzw.  $I_{k2}$  resultierenden Magnetfelder und der gesamten Beschaltung ergeben sich keine signifikanten Unterschiede zu dem bisher erläuterten Ausführungsbeispiel. Insoweit kann auf die dortige Beschreibung zurückgegriffen werden.

Ganz grundsätzlich ist darauf hinzuweisen, daß ohne eine darüberliegende Passivierungsschicht oder eventuell notwendige Haftsichten vier Schichtlagen für die Realisierung eines Magnetfeldsensors auf Basis des magnetoresistiven Effektes erforderlich sind, nämlich eine magnetoresistive Schicht, z. B. aus Permalloy zur Ausnützung des AMR-Effektes, eine Kontaktierungsschicht für die magnetoresistive Schicht, eine Isolationsschicht und eine Leiterbahnschicht zur Realisierung des zusätzlichen Stromleiters. Im übrigen kann das Schichtsystem für die magnetoresistive Schicht auch den GMR-Effekt (= giant magnetoresistive effect) zeigen, wobei ein Schichtsystem aus verschiedenen Lagen verwendet wird, die abwechselnd ferro- und antiferromagnetische Kopplung aufweisen. Ferner ist es grundsätzlich möglich, den gesamten Sensoraufbau inklusive der Auswerteschaltung monolithisch auf einem Chip zu integrieren.

Eine besonders hervorzuhebende Anwendung des vorstehend erläuterten Sensortyps ist ein Drehzahl-Sensor, wie er in Fig. 15 bis 17 in unterschiedlichen Anordnungsmöglichkeiten dargestellt ist. Der Drehzahlsensor 17 kann dabei die in Fig. 1 und 2 dargestellte Sensorelement-Konfiguration zusammen mit der in Fig. 7 dargestellten Auswerteschaltung auf einem Chip integriert aufweisen. Die in Fig. 11 und 12 vorgesehenen Maßnahmen sind dabei genauso wenig

notwendig wie die in Fig. 7 vorgesehenen Potentiometer 10 und 11, da bei dem Drehzahlsensor eine qualitative Messung vorgenommen wird. Der Drehzahlsensor 17 dient zur Messung der Drehzahl einer um die z-Achse rotierenden Scheibe mit magnetischer Information, wie sie üblicherweise als Multipol-Rad 18 bezeichnet wird. Auf diesem Multipol-Rad wechseln am Umfang mit konstantem Abstand  $\lambda$  (siehe Fig. 17) ungleichnamige Magnetpole einander ab. Das Multipol-Rad ist fest oder in einem bestimmten Getriebeverhältnis mit dem Rotationsteil – beispielsweise einer Welle 19 – gekoppelt, dessen Drehzahl ermittelt werden soll.

Der Drehzahlsensor 17 kann verschiedene Magnetfeld-Komponenten des Magnetfeldes H des Multipol-Rades 18 durch unterschiedliche Anordnung erfassen. Durch eine in der Ebene des Multipol-Rades mit Abstand  $a$  zur Umfangsfläche gewählte Stellung des Drehzahlsensors 17 kann die Radialkomponente  $r$  erfaßt werden (Fig. 15). Bei einer seitlichen Anordnung neben dem Umfangsrand 20 des Multipol-Rades 18, wie er in Fig. 16 in Draufsicht gezeigt ist, sind die in Umfangsrichtung verlaufende  $\phi$ -Komponente beziehungsweise die in z-Richtung verlaufende Axialkomponente der magnetischen Information des Multipol-Rades zu erfassen. Idealerweise werden dabei die beiden Sensorelemente des Sensors so angebracht, daß sie vom gleichen Magnetfeld durchsetzt werden. Entsprechend sind also die beiden Sensorstreifen gemäß Fig. 1 und 2 möglichst nahe beieinander zu positionieren.

Wie aus Fig. 17 deutlich wird, ist es auch möglich, zwei Drehzahlsensoren 17.1 und 17.2 mit jeweils einem Sensorelement SE auf unterschiedlichen Sensor-Chips mit einem Abstand  $\phi_s$  zu positionieren, der einer oder mehrerer "Wellenlängen"  $\lambda$  der Polteilung entspricht. Damit werden auch hier wieder die beiden Sensorstreifen vom gleichen Magnetfeld H durchsetzt. Entspricht der Abstand zwischen den beiden Sensoren 17.1 und 17.2 mit je einem Sensorelement einem ungeradzahligen Vielfachen von  $\lambda/2$  (??), so muß entweder  $I_{k1}$  oder  $I_{k2}$  auf den entsprechenden Chips umgepolt werden, da dann die beiden Sensorelemente SE von betragsgleichen, jedoch mit unterschiedlichen Vorzeichen versehenen Magnetfeldern durchsetzt sind.

Wichtig ist der Hinweis, daß die für die Drehzahlsensoren 17 vorgesehene Auswerteschaltung, die für unterschiedliche Abstände  $a$  des Drehzahlsensors 17 vom Multipol-Rad die in Fig. 19 dargestellte analoge Ausgangsspannung  $U_{out}$  liefert, noch durch einen Hochpaß-Filter und einen Schmitt-Trigger ergänzt werden kann, der aus diesen analogen Ausgangssignalen digitale Ausgangssignale  $U_{out,d}$  generiert, wie sie in Fig. 20 dargestellt sind. Aufgrund dieser digitalen Ausgangssignale kann in sehr einfacher Weise die Drehzahl des Multipol-Rades durch eine entsprechende Berechnungsschaltung ermittelt werden.

Wie aus Fig. 21 und 22 deutlich wird, ist ein vernünftiges Ausgangssignal auch noch dann zu erzielen, wenn beispielsweise durch einen zu geringen Abstand von  $a = 0,5$  mm des Drehzahlsensors 17 zu einem Multipol-Rad 18 die Auswerteschaltung übersteuert und die in Fig. 21 gezeigte Charakteristik ausgibt. Das in Fig. 22 dargestellte digitalisierte Signal ist trotzdem problemlos auswertbar.

Eine weitere Anwendungsmöglichkeit für den erfindungsgemäßen Magnetfeldsensor ist die Messung von Strömen. Dazu wird auf die in den Fig. 23 und 24 dargestellte Ausführungsform des Magnetfeldsensors verwiesen.

Dieser Stromsensor 21 unterscheidet sich von dem allgemeinen Magnetfeldsensor gemäß Fig. 1 in erster Linie dadurch, daß oberhalb der die Hilfsströme  $I_{k1}$  und  $I_{k2}$  führenden Leiterbahnen A11 durch eine weitere Isolationsschicht 22 getrennt weitere Leiterbahnen A12 vorgesehen sind, die

U-förmig über die beiden Sensorelemente SE1, SE2 geführt sind. Über diese Leiterbahn A12 fließt der zu messende elektrische Strom  $I_m$ . Dieser kann dann indirekt über sein Magnetfeld  $H_{I_m}$  bestimmt werden, wie dies vorstehend anhand eines allgemeinen externen Magnetfeldes H bereits eingehend erläutert wurde.

Durch die U-förmige Führung der Leiterbahn A12 wirken sich zusätzliche störende Magnetfelder möglichst gering auf das Ausgangssignal  $U_{out}$  des Strom-Sensors aus. Letzteres wird im übrigen wiederum durch eine Auswerteschaltung gemäß Fig. 7 bzw. Fig. 10 erzeugt.

Wie aus Fig. 25 deutlich wird, kann die Leiterbahn A12 auch unterhalb der Sensorstreifen R\_MR1 bzw. R\_MR2 liegen, indem die entsprechenden Leiterbahnen A12 in die Wafer-Oberfläche implantiert bzw. eindiffundiert wurden. Insofern wird also auch eine Messung eines Stromes möglich, der in sogenannten "vergrabenen Schichten" unterhalb der Wafer-Oberfläche 1 fließt. Damit kann also eine Messung "on chip" realisiert werden. Im übrigen sind Schichten in Fig. 25, die mit dem Aufbau in Fig. 24 übereinstimmen, mit identischen Bezugszeichen versehen.

Die Leiterbahn A12 bietet ferner die Möglichkeit für eine Kalibrierung der Sensorelemente. Es kann nämlich mittels eines bekannten Magnetfeldes ein Kopplungsfaktor zwischen dem Strom  $I_m$  und dem daraus resultierenden Magnetfeld  $H_{I_m}$  auf das darüber- bzw. darunterliegende Sensorelement bestimmt werden. Dieser ermöglicht nachträglich ein Kalibrieren der Sensorelemente bzw. des gesamten Sensors nach der Beziehung  $U_{out} = f(I_m)$ . Bleibt das Layout des Sensors unverändert, hat man so die Möglichkeit, ohne bekanntes äußeres Magnetfeld die entsprechenden Sensoren zu kalibrieren, da für einen bestimmten Strom  $I_m$ , dessen Magnetfeld  $H_{I_m}$  bekannt ist. Dies gilt ebenso für den Einsatz des Sensors als Magnetfeldsensor.

Auch hier kann die Aufbereitungs-Schaltung gemäß Fig. 7 verwendet werden, jedoch ist dann darauf zu achten, daß die Ströme  $I_{k1}$  und  $I_{k2}$  nicht wie vorher antiparallel, sondern parallel ausgerichtet fließen. Die Magnetfeldkomponenten  $H_{I_{k1}}$  und  $H_{I_{k2}}$  zeigen dann in gleiche Richtung und die Magnetfeldkomponente  $H_{I_m}$  überlagert sich einmal additiv und einmal subtraktiv mit  $H_{I_{k1}}$  und  $H_{I_{k2}}$ .

Für den Chip-Aufbau des Stromsensors 21 ist anzumerken, daß auch dieser Sensor vollständig integriert herstellbar ist. Es können die Schichten für die Leiterbahnen A11 bzw. A12 auch in Hybridtechnik und durch genau aufgebrachte Bond-Drähte realisiert werden. Die Isolationsschichten 2 bzw. 22 können wiederum verschieden aus unterschiedlichen Materialien, wie Siliziumoxid, Aluminiumoxid, Siliziumnitrid oder Polyimidlack ausgeführt werden. Ihre typische Dicke liegt zwischen  $0,1 \mu m$  und  $5 \mu m$ , wobei in Hybridtechnik noch größere Dicken gewählt werden.

Statt der U-förmigen Anordnung der Leiterbahn A12 gemäß Fig. 23 kann auch eine Konfiguration gewählt werden, wie sie in Fig. 26 dargestellt ist. Hier liegen die beiden Sensorelemente SE1 und SE2 hintereinander und die Leiterbahn A12 kann in Hybridtechnik oder als elektrischer Leiter geradlinig über die gesamte Anordnung gelegt sein. Damit läßt sich der Sensor auch leichter für die Messung höherer Ströme verwenden.

Die Meßdiagramme gemäß den Fig. 27 und 28 machen schließlich wiederum die verschiedenen Kennlinien der Signalspannung  $U_d$  bzw. der Ausgangsspannung  $U_{out}$  bei Verwendung der Schaltung gemäß Fig. 7 deutlich, nämlich die Linearisierung für kleine Ströme  $I_m$ , die Kompensation und

Verstärkung des Ausgangssignals.

1. Magnetfeldsensor auf Basis des magnetoresistiven Effektes mit

- mindestens einem Magnetfeld-empfindlichen langgestreckten, lagenförmigen Sensorstreifen (R\_MR1, R\_MR2, R\_MR3, R\_MR4) aus einem magnetoresistiven Material,
- einem von dem Sensorstreifen (R\_MR1, R\_MR2, R\_MR3, R\_MR4) über einen Isolator (2, 22) getrennten, hochleitfähigen Stromleiter (A11) zur Führung eines Hilfsstroms (Ik1, Ik2, Ik3, Ik4) parallel zu dem mindestens einen Sensorstreifen (R\_MR1, R\_MR2, R\_MR3, R\_MR4), und
- einer dem Stromleiter (A11) zugeordneten Beschaltung zur Linearisierung der Magnetoresistiv-Charakteristik des Sensors, zur Kompensation der Wirkung eines externen Magnetfeldes auf den Sensorstreifen (R\_MR1, R\_MR2, R\_MR3, R\_MR4) unter Erweiterung des Meßbereichs und/oder zur Verstärkung des Ausgangssignals (Ud) des Sensors.

2. Sensor nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Stromleiter (A11) als oberhalb des Sensorstreifens (R\_MR1, R\_MR2, R\_MR3, R\_MR4) angeordnete, insbesondere in Dünnschicht-Technik ausgeführte stromführende Bahnlage (A11) ausgebildet ist.

3. Sensor nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Stromleiter (A11) als in den Träger (1) des Sensors integrierte, unterhalb der Sensorstreifens (R\_MR1, R\_MR2, R\_MR3, R\_MR4) angeordnete Bahnlage ausgebildet ist.

4. Sensor nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß mindestens zwei, insbesondere vier Sensorstreifen (R\_MR1, R\_MR2, R\_MR3, R\_MR4) in einer Ebene auf dem Sensorsubstrat (1) angeordnet sind.

5. Sensor nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß zwei Sensorelemente (SE1, SE2) eng parallel nebeneinander oder in einer Linie hintereinander angeordnet sind.

6. Sensor nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß der Stromleiter (A11) zur Führung des Hilfsstromes (Ik1, Ik2, Ik3, Ik4) zumindest in Teilbereichen in seinem Verlauf eine Komponente in der magnetisch schweren Richtung der Sensorstreifen (R\_MR1, R\_MR2, R\_MR3, R\_MR4) aufweist.

7. Sensor nach einem der Ansprüche 1 bis 6 als Stromsensor, dadurch gekennzeichnet, daß ein weiterer, den zu messenden Strom (Im) führender Stromleiter (A12) insbesondere in Form einer weiteren Bahnlage den Sensorstreifen (R\_MR1, R\_MR2, R\_MR3, R\_MR4) und dem Stromleiter (A11) zugeordnet ist.

8. Sensor nach einem der Ansprüche 1 bis 6 als Drehzahlsensor (17), dadurch gekennzeichnet, daß der Sensor (17) ortsfest einem relativ dazu drehbaren magnetischen Multipolrad (18) zugeordnet ist, das mit einer für die zu erfassende Drehzahl repräsentativen Drehgeschwindigkeit rotiert.

9. Drehzahl-Sensor nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß zwei Sensorelemente (SE1, SE2) eng benachbart auf einem gemeinsamen Trägerchip (1) vorzugsweise mit einer entsprechenden Auswerteschaltung für die Meßsignale angeordnet sind.

10. Drehzahl-Sensor nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß jeweils ein Sensorelement (SE) auf zwei getrennten Trägerchips vorgesehen ist, die mit einem Abstand ( $\phi_a$ ) dem Multipolrad (18) zugeordnet

sind, der einem ganzzahligen Vielfachen der Polteilung ( $\lambda$ ) entspricht.

11. Drehzahl-Sensor nach einem der Ansprüche 8 bis 11, dadurch gekennzeichnet, daß das analoge Ausgangssignal der Auswerteschaltung mittels eines Hochpaßfilters und eines Schmitt-Triggers in ein Digitalsignal umsetzbar ist.

12. Drehzahl-Sensor nach einem der Ansprüche 1 bis 11, dadurch gekennzeichnet, daß die radiale, axiale oder Winkel-Komponente des Magnetfeldes des Multipolrades (18) vom Sensor erfassbar ist.

---

Hierzu 9 Seite(n) Zeichnungen

---

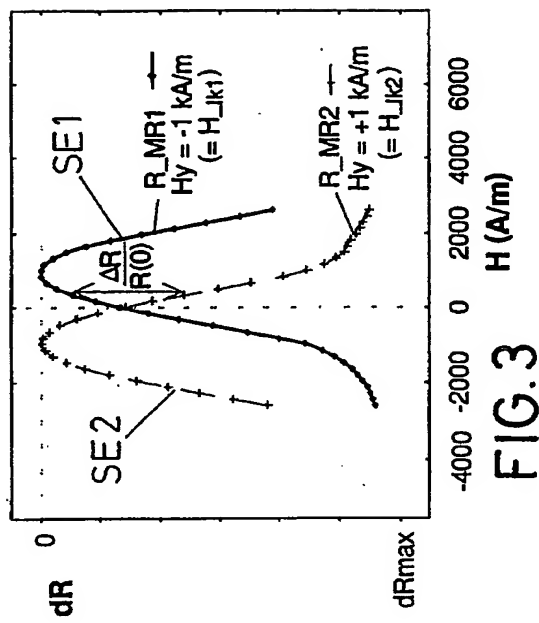
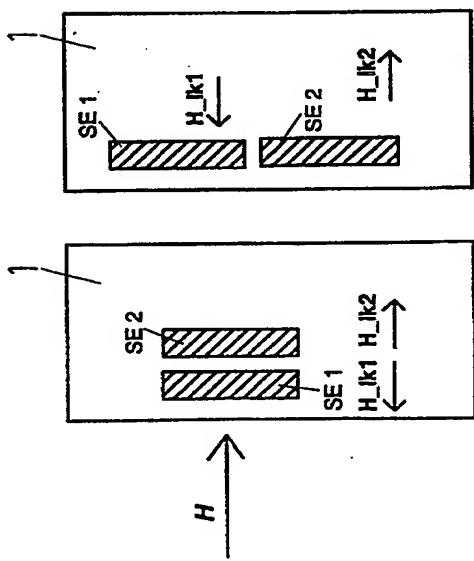
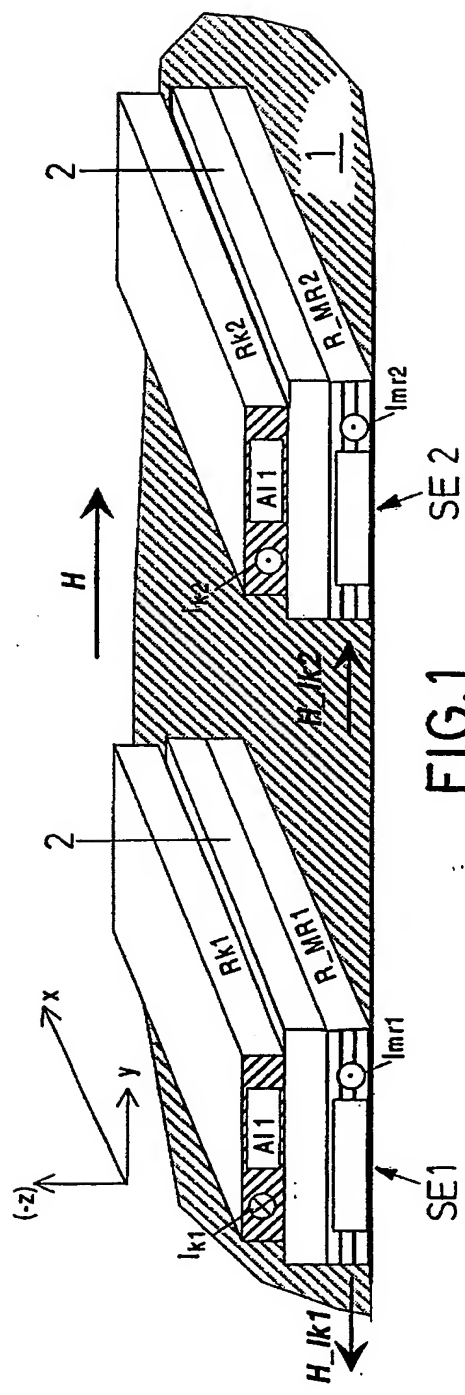


FIG.2

FIG.3

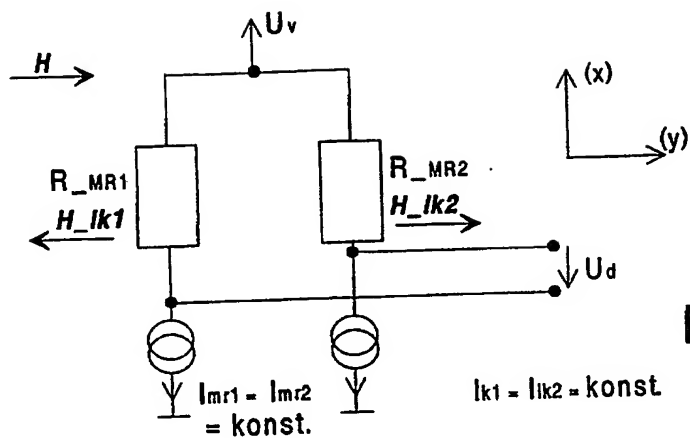


FIG. 4

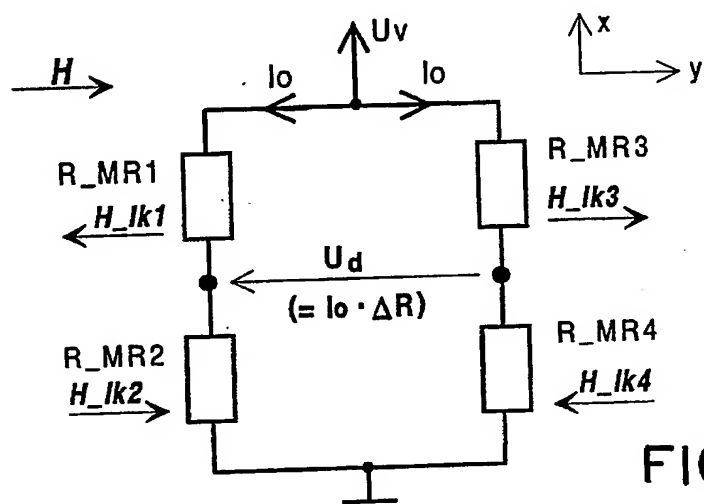


FIG. 5

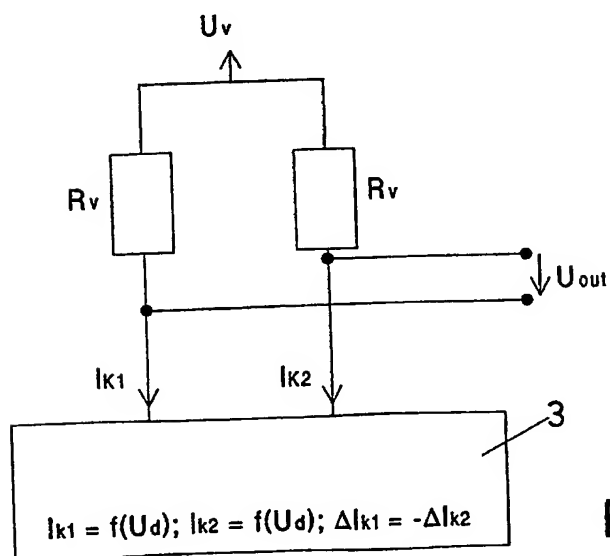
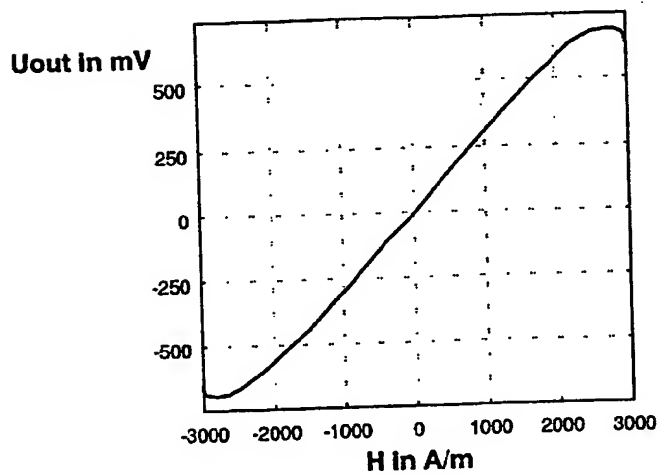
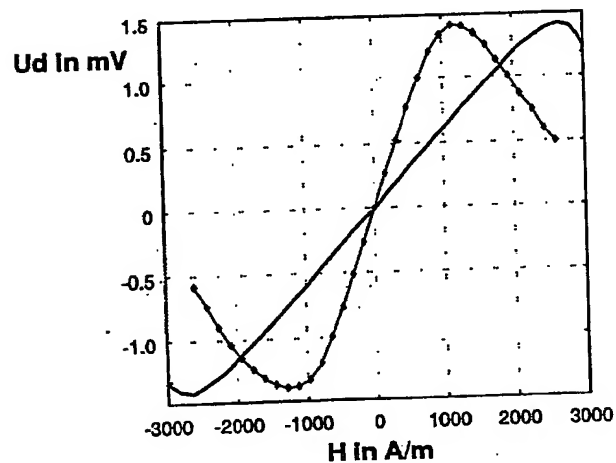
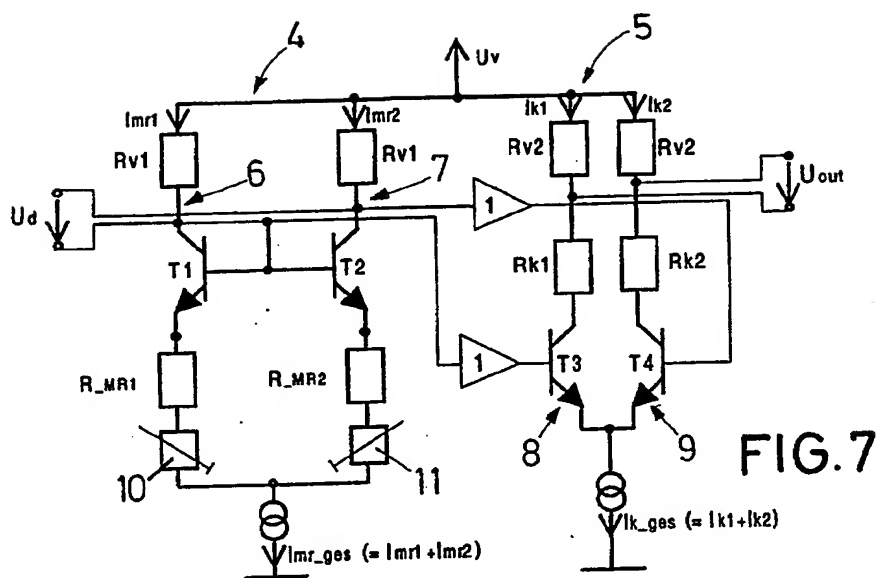


FIG. 6



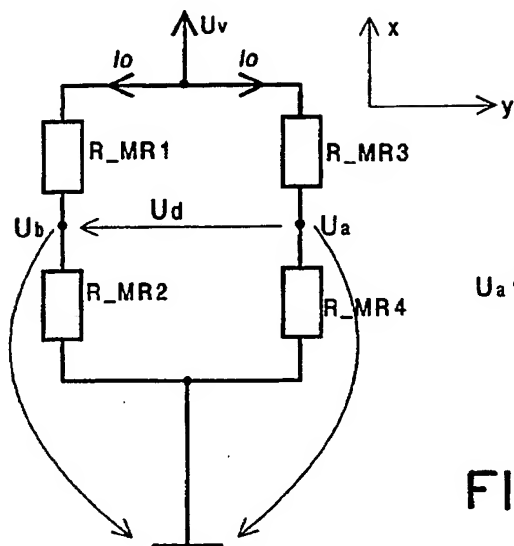


FIG. 10

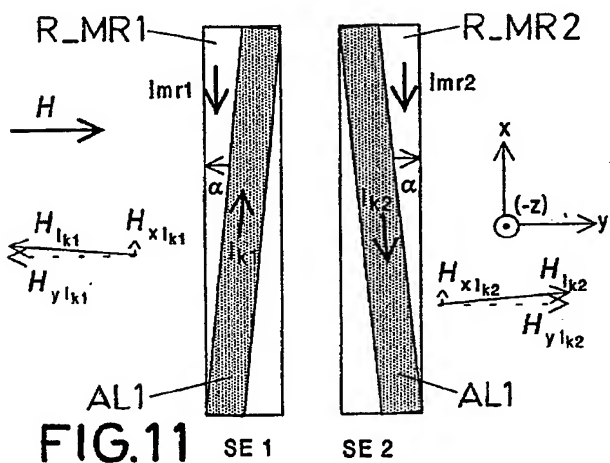
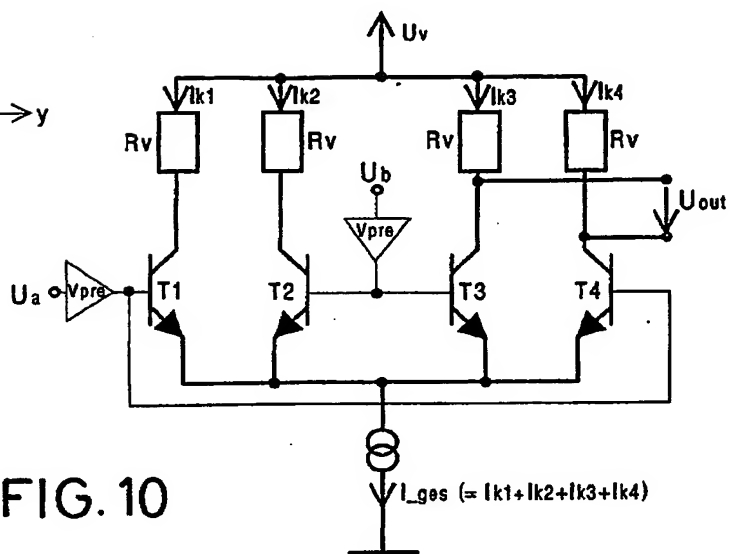


FIG. 11

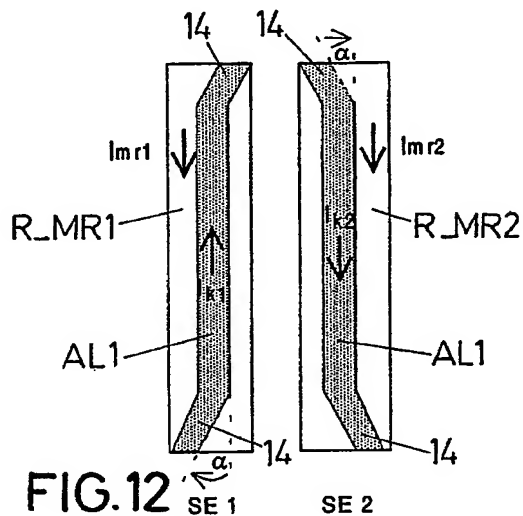


FIG. 12

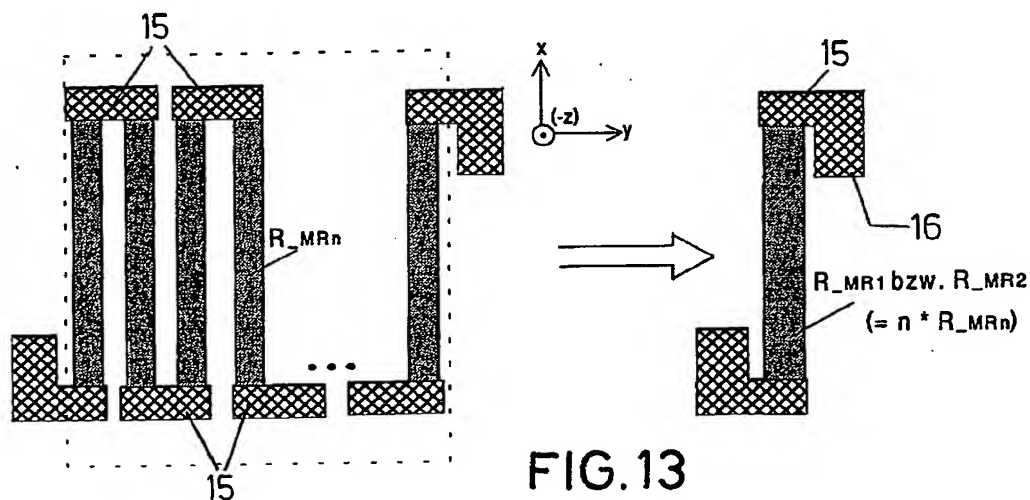
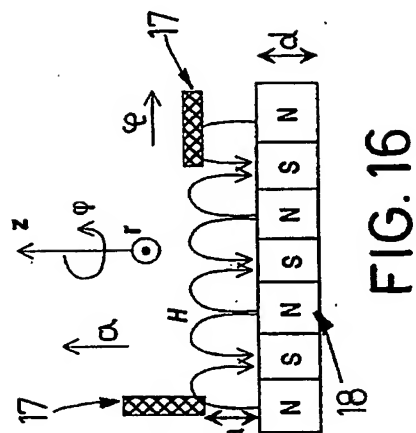
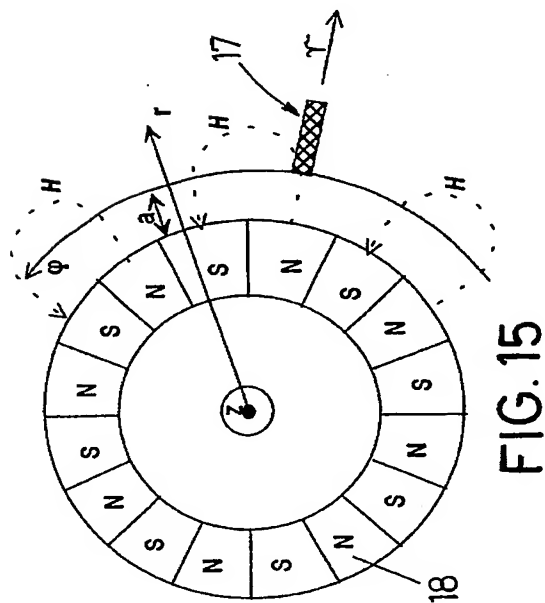
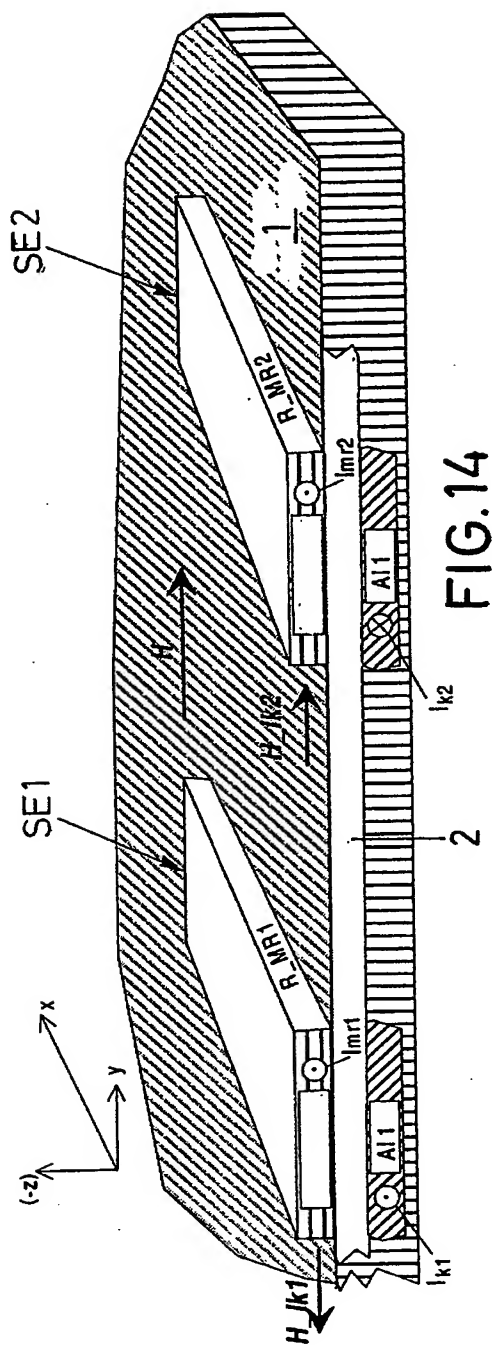
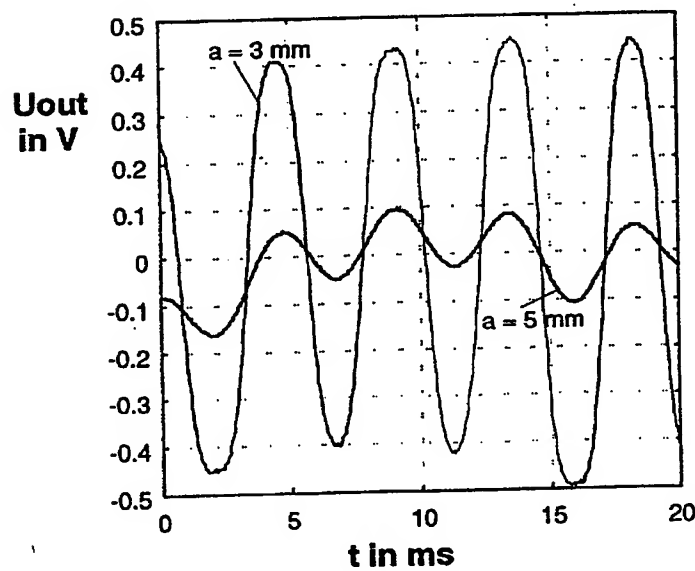
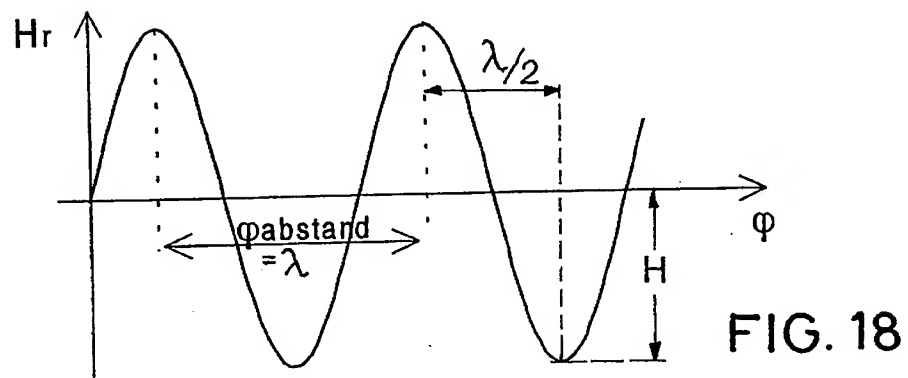
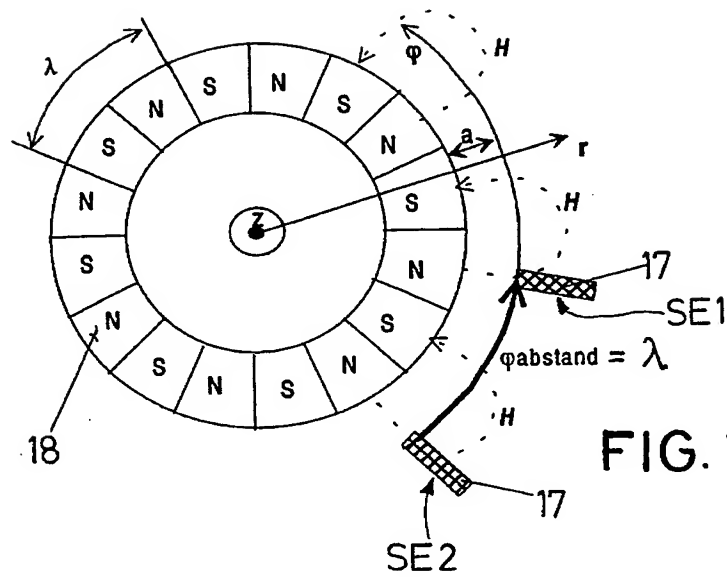


FIG. 13





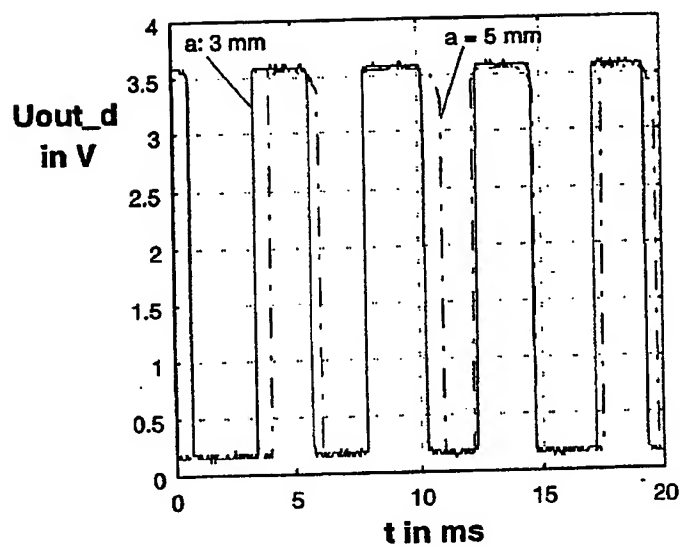


FIG. 20

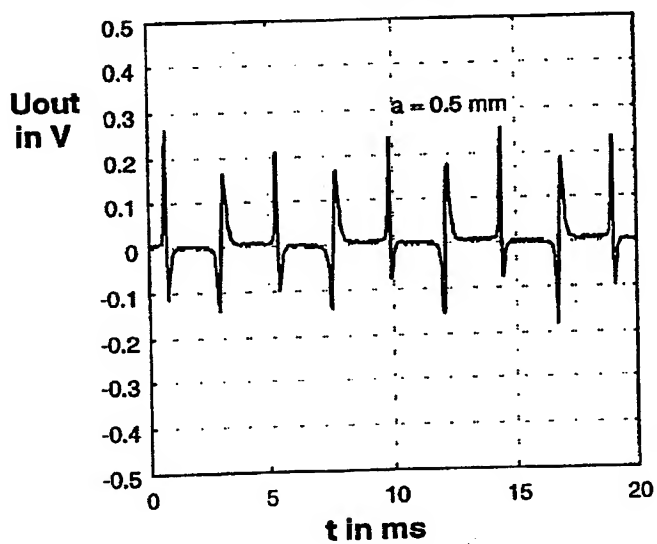


FIG. 21

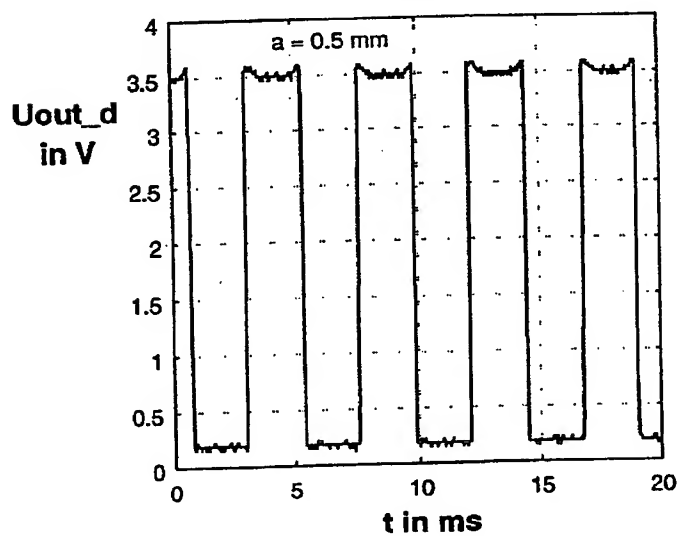


FIG. 22

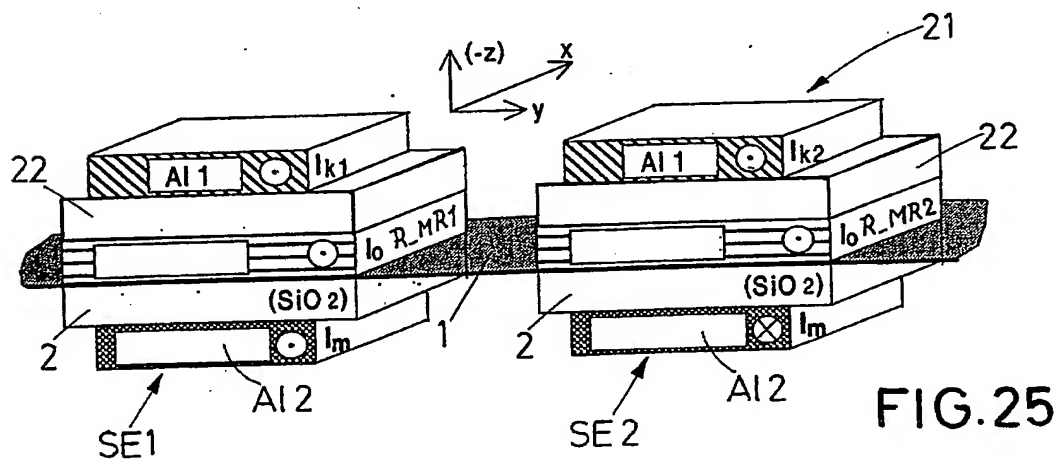
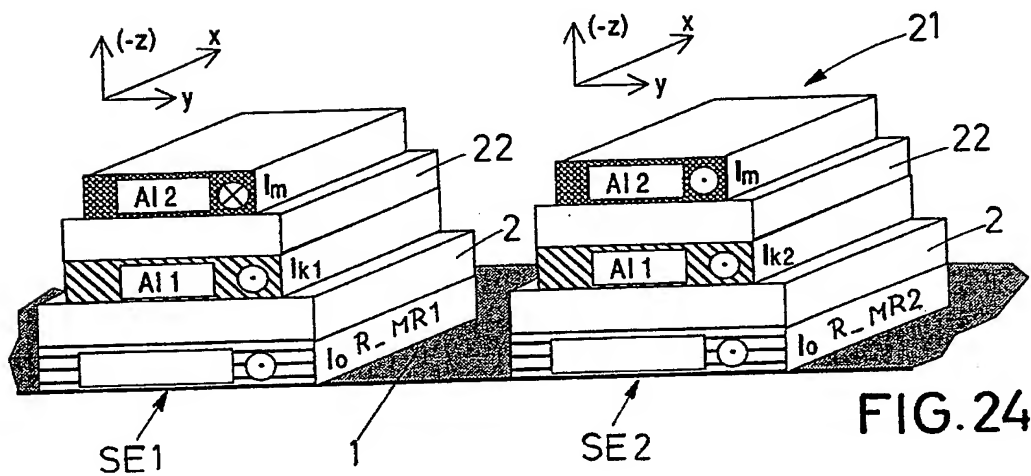
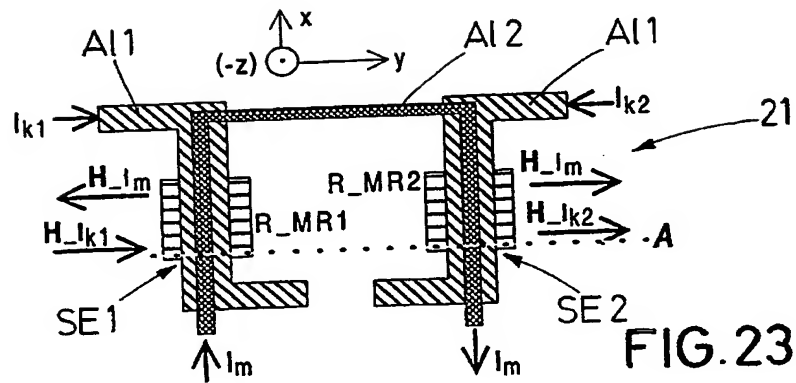


FIG. 26

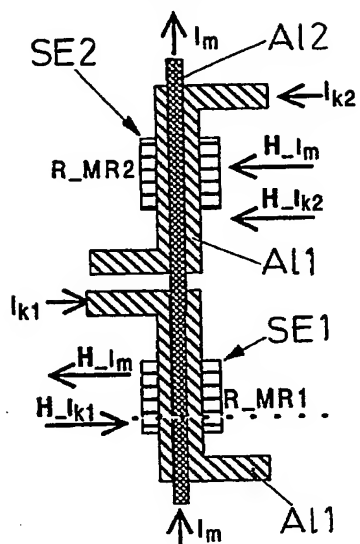


FIG. 27

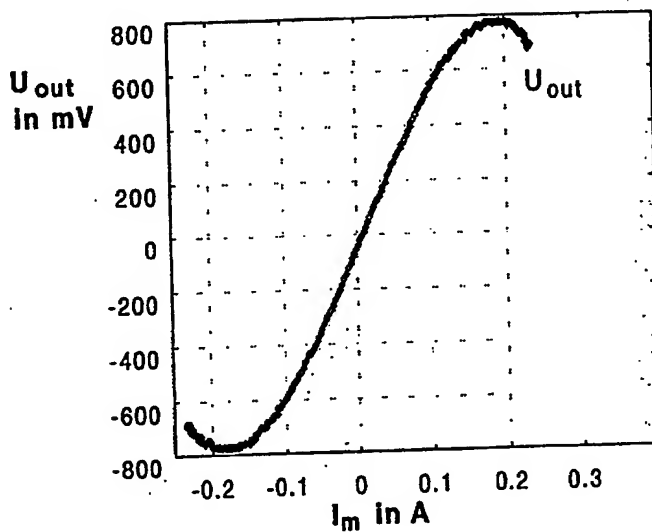
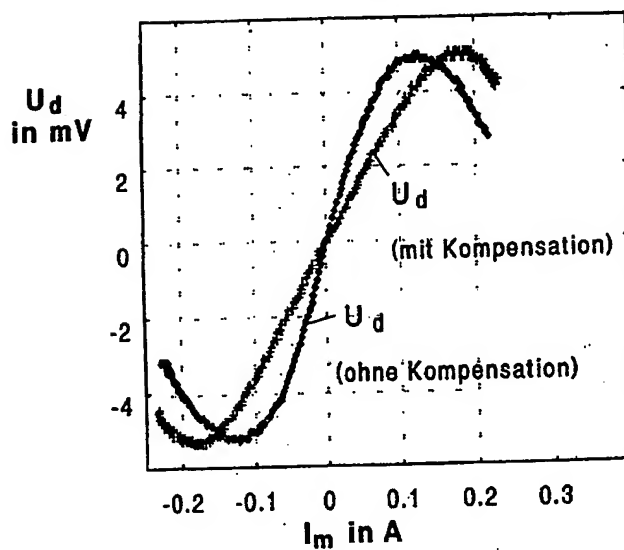


FIG. 28

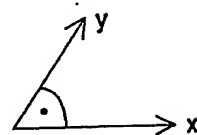
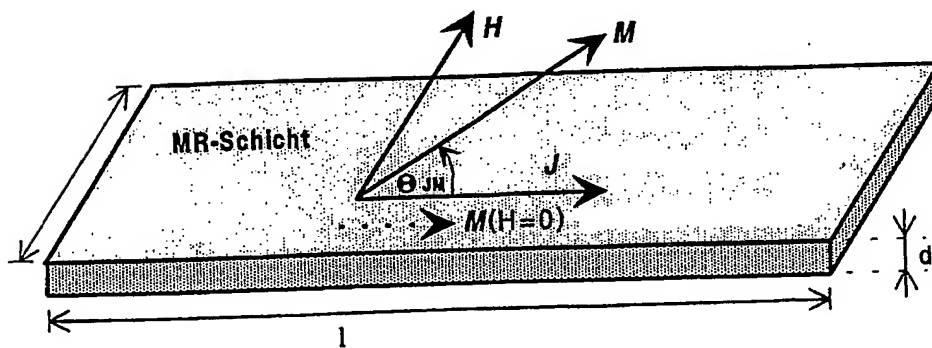


FIG. 29